

[研究論文]

若狭湾・常神沖の水温の変動特性

— モニタリングシステムの効果的な利用にむけて —

兼田淳史¹⁾・瀬戸久武²⁾・前田英章²⁾・千手智晴³⁾・矢野泰隆⁴⁾

1. はじめに

2006年7月、若狭湾南部の常神（つねかみ）の沖（図1）に設置されている水温の観測システムが新しくなった。新しいシステムで用いられている観測ブイは、取得したデータを配信する機能を備

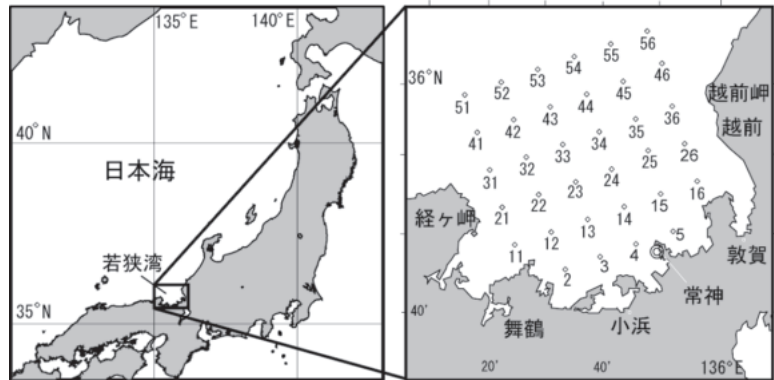


図1 若狭湾および観測地点。◎は水温観測システムが設置されている常神の観測地点，○は船舶調査の定点観測地点を示している。

えている。測定した水温は速やかに公開され、公開された最新の水温情報は、携帯電話や電子メールを使うことにより誰でも知ることができる。新しいシステムの特徴は、最新の水温データが速やかに公開されることといえよう。このようなデータ配信機能を備えた水温情報システムは、若狭湾以外の沿岸域においても運用されている。既に、豊後水道や英虞湾、北海道沿岸などでは、水産業や、釣り、海水浴などのレジャー産業で利用されており、若狭湾においても常神沖から配信される水温情報の活用が期待されている。

多くの人が常神沖の水温情報を利用するためには、配信されるデータの基礎的な情報が必要である。その情報とは、常神水温の平均的な季節変動や年による違い、常神沖と若狭湾内の別の場所の水温差などである。水温と魚の漁獲時期の関連性に関する知見があれば、このシステムの利用方法を見出すための有効な情報になりそうである。このような考えに基づき、本研究では、常神沖における水温の変動特性の解明や、若狭湾の他の場所との水温差を統計的に明らかにすること、そして水温変動と本海域で主要な漁獲対象種であるブリの漁獲量変動の関連性について知見を得ることを目的とした。

受付日 2009.11. 2

受理日 2009.12.16

所 属 1) 福井県立大学海洋生物資源学部海洋生物資源学科

2) 福井県水産試験場

3) 九州大学応用力学研究所

4) 漁業情報サービスセンター

この論文では、2章で観測および解析データについて説明し、3章で解析結果として常神の水温の変動特性と、定置網のブリ類における漁獲量の季節変動についてそれぞれ示す。4章では、考察として常神沖と若狭湾内の他の場所との水温の違いや、水温変動とブリの漁獲量変動の関連性について記述し、5章で解析結果や今後の課題についてまとめる。

2. 観測および解析データ

常神沖における水温の連続観測データ、若狭湾での船舶を利用した定点観測データ、常神の漁獲量データを解析した。以下に、それぞれのデータについて説明する。

常神沖の水温連続観測は、2003年4月から福井県水産試験場が常神半島先端付近の岸から500m程度離れた定置網近傍（水深約60m）で行った。冬季は海が荒れて、観測で用いるブイを係留することが不可能になるため、例年4月上旬から12月頃までが観測時期となる。観測ブイの海面下10m、50mにはメモリー式水温計（Hobo water temp pro,tidbit）を取り付け、10分ごとに測定した。そして、2006年7月から、（社）漁業情報サービスセンターと福井県水産試験場は、本論文の冒頭で紹介した携帯電話回線を利用した新しい水温ブイを導入し、準リアルタイムで水温データの配信を開始した。このとき、観測層数は増加して、海面下1m、10m、30m、50m層の計4層で測定されることになった。本研究の解析では、長期間にわたってデータが揃っている海面下10mと50mの水温データを用いる。ここでは日周期以上の変動について議論するため、観測データから日平均データセットを作成して解析に利用した。また、測器の故障や大型クラゲの来襲による観測ブイの撤去などにより、長期間にわたって欠測した年もある。

若狭湾内の水温データとして、福井県水産試験場が図1に示す若狭湾内の測点で実施している定点観測のデータを利用した。各観測点では、福井県水産試験場の調査船「福井丸」が備えているCTD（FSI社製ICTD）を用いて、海面から海底までの水温と塩分が測定されている。本研究では、2003年から2008年に観測された定点観測データのうち、常神で水温が測定されている日に観測を実施

している日の多かった2005年と2008年のデータを利用した。それぞれの観測日を表1に示す。常神沖の水温変動と定置網で漁獲される魚の種類や

表1 船舶を利用した定点調査の観測日

2005 年の観測日			2008 年の観測日		
年	月	日	年	月	日
2005	4	6, 7	2008	3	16, 17
2005	5	12, 13	2008	4	15, 16
2005	6	22, 23	2008	5	26, 27
2005	7	13, 14	2008	8	6, 7
2005	8	8, 9	2008	10	15, 16
2005	9	12, 13	2008	11	13, 14
2005	10	5, 6			
2005	11	1, 2			

量の関連性について調べるため、常神で行われている定置網の漁獲量データを利用した。ここでは若狭湾の定置網漁業における主要魚種の一つであるブリ類(ブリ、ワラサ、ハマチ、アオコ、ツバス)について解析した。解析期間は、水温データと同様に2003年から2008年までとする。

3. 解析結果

3. 1 常神沖の水温の変動特性

図2は、常神沖で測定された海面下10mと50mの日平均水温を時系列にして示している。2003年のデータを横軸にあわせて描き、2004年度以降は上に10℃ずつずらして描くことで、全ての年の時系列を同じ図の上に示している。図中の空白は欠測時期である。この図から、季節変動や年による水温変化の違いがわかる。

図3には、2003年から2008年の同じ日の平均値および、最高水温、最低水温を示している。

2003年から2008年のうち4年以上のデータが揃っていない日は、データを示さず空白にしている。図では数値がわかりにくいので、海面下10m、50mの各月の平均値、平年値からの偏差を、それぞれ表2、表3にまとめている。

年によって水温の上昇の仕方や、時期は大きく異なっている(図2)。各年の時系列を数ヶ月程度の時間スケールでみると、水温の上昇あるいは下降の速さは一定でなく、短時間の上昇や下降を繰り返している。このような複雑な水温変化は、若狭湾内の他の観測

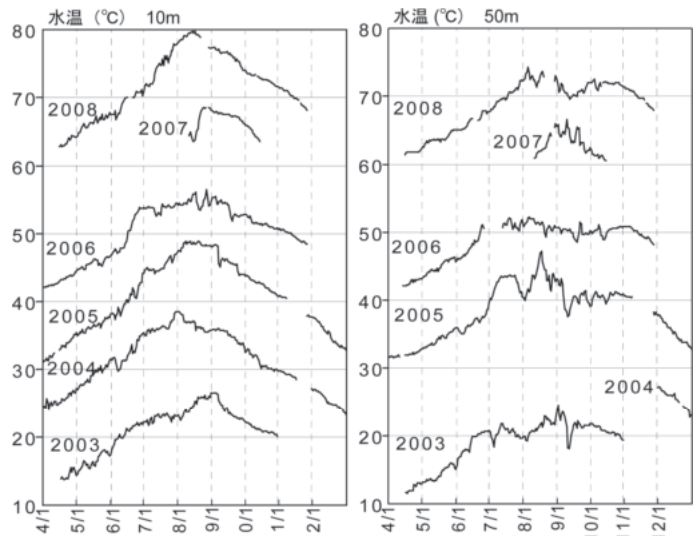


図2 常神沖の海面下10m(左)と50m(右)の水温時系列(2003年から2008年までの日平均値を利用)横軸は2003年にあわせ、2004年以降の時系列は10℃ずつ上にずらしている。

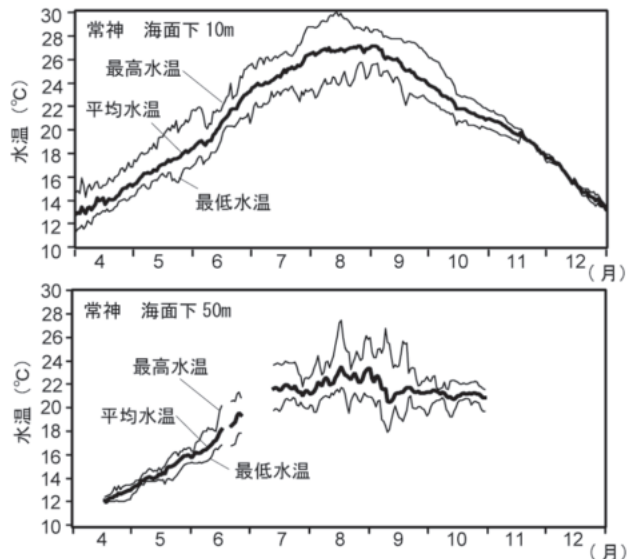


図3 常神沖の海面下10m(上)と50m(下)における4月1日から12月31日までの平均値と最高水温と最低水温(2003年から2008年までのデータを用いて日ごとの平均値、最高水温、最低水温を示している。)

地点の観測結果でも確認できるため、常神に限らず若狭湾の水温変動の特徴と推察される（例えば、前田・瀬戸，2008）。

図3および表2，3を利用して、常神沖の海面下10mの平均的な水温の季節変化の特徴について述べる。4月頃、海面下10mの水温は14℃程度になる。その頃は、年による水温差は比較的小さい（図3）。5月から6月にかけて16℃から20℃程度まで昇温し、7月頃になると平均水温は24.5℃程度になる。初夏よりも夏季の方が年による水温の違いは大きい。8月中旬から9月頃に最高水温を迎え、その後は緩やかに低下し、10月頃には平均水温は22℃程度まで下がる。海面下10mの季節変動は、初夏から真夏にかけて水温が上昇し、8，9月頃に最高値を迎えた後、緩やかに低下するという、周辺の沿岸域でみられる一般的な時間変化をしている。

次に、海面下50mの平均的な水温変化について述べる。図2，3から海面下10mと50mの水温時系列を比較すると、両者の変動特性は大きく異なる。海面下50mにおける4月は観測日数が十分ではないのでよくわからないが、5月頃は14.5℃程度である（表3）。その後、6月から7月頃まで、水温は次第に上昇して7月には約21℃程度となる。そして、7月上旬頃まで水温は上昇するものの、7月中旬頃から10月頃にかけて水温変化の傾向は上層と大きく異なるようになり、夏季の水温は同程度で維持するか、年によっては低下している（図2）。また、その頃、海面下10mとの水温差が2℃以上になり、海面下50mで、数日から10日程度の時間スケールの変動が顕著である。例えば、図2をみると、2003年、2005年には10日以内に3℃以上の水温変動が認められ、海水が激しく動いていたことを示唆している。10月以降は、海面下10mと同様に水温が次第に低下している。これまで観測が難しかったこともあり上層以外の変動について知見は少なかったが、この観測データから海面下10mと50mでは水温の変動傾向が異なり、夏季には上層の水温は加熱されて高くなるにも関わらず、下層では水温が上層しない、あるいは低下する傾向があることがわかった。

水温は、年によって大きな違いがある。表2、表3に示した海面下10mと50mの平均値および偏差をみると、2003年と2006年は他の年よりも全体的に低く推移していたことがわかる。そのため、海面下10mの水温の平均値および偏差（表2）は、比較的高水温であった2008年8月の平均水温は28.9℃であったのに対して、低温であった2003年、2006年の8月は24.7℃であったこと、そしてその水温差は約4℃にも達していることを示している。下層の水温をみても、上層と同様に水温の年による違いは大きい。

表 2 常神沖の海面下10mの水温の月別平均値(上)と平均値からの偏差(下)

月別平均値							単位 (°C)
月	2003	2004	2005	2006	2007	2008	平均値
4	—	15.45	13.04	13.03	—	—	13.84
5	16.41	19.09	16.35	15.60	—	16.28	16.75
6	20.56	22.30	20.08	19.94	—	19.22	20.42
7	22.77	26.30	25.30	23.75	—	24.54	24.53
8	24.74	26.67	28.35	24.71	26.38	28.87	26.62
9	24.11	25.03	25.87	23.74	27.36	26.14	25.38
10	21.08	21.08	22.40	21.47	—	22.75	21.75
11	—	—	—	19.63	—	20.05	19.84
12	—	15.35	15.17	—	—	—	15.20

※年ごとの月平均値は月の観測日数が 20 日以上のあるときのみ算出し、平均値は 2 年以上のデータがあった場合のみ算出している。

<月ごとの平均値(2003－2008 年)からの偏差>							単位 (°C)
月	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
4	—	1.61	-0.80	-0.81	—	—	
5	-0.33	2.34	-0.39	-1.14	—	-0.47	
6	0.14	1.88	-0.34	-0.48	—	-1.20	
7	-1.76	1.77	0.77	-0.78	—	0.01	
8	-1.88	0.05	1.73	-1.91	-0.24	2.25	
9	-1.27	-0.35	0.50	-1.63	1.99	0.76	
10	-0.68	-0.68	0.64	-0.29	—	1.00	
11	—	—	—	-0.21	—	0.21	
12	—	0.09	-0.09	—	—	—	

※2003－2008 年の平均値を用い、月の観測日数が 20 日以上のあるときに算出している。

表 3 常神沖の海面下50mの水温の月別平均値(上)と平均値からの偏差(下)

<月別平均値>							単位 (°C)
月	2003	2004	2005	2006	2007	2008	平均
4	—	—	—	—	—	—	—
5	14.63	—	14.48	15.13	—	13.94	14.55
6	19.16	—	16.89	18.11	—	16.52	17.67
7	20.70	—	22.75	21.41	—	20.17	21.26
8	21.60	—	23.56	21.38	—	22.97	22.38
9	21.88	—	20.56	20.28	24.10	20.97	21.56
10	20.96	—	20.93	20.56	—	22.01	21.12
11	—	—	—	20.05	—	20.06	20.06
12	—	15.69	15.40	—	—	—	15.54

※年ごとの月平均値は月の観測日数が 20 日以上のあるときのみ算出し、平均値は 2 年以上のデータがあった場合のみ算出している。

<月ごとの平均値(2003－2008 年)からの偏差>							単位 (°C)
月	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
4	—	—	—	—	—	—	
5	0.08	—	-0.06	0.59	—	-0.61	
6	1.49	—	-0.78	0.44	—	-1.15	
7	-0.56	—	1.49	0.15	—	-1.09	
8	-0.78	—	1.18	-1.00	—	0.59	
9	0.32	—	-1.00	-1.28	2.55	-0.59	
10	-0.16	—	-0.19	-0.56	—	0.90	
11	—	—	—	-0.01	—	0.01	
12	—	0.14	-0.14	—	—	—	

※2003－2008 年の平均値を用い、月の観測日数が 20 日以上のあるときに算出している。

3. 2 常神沖の定置網における漁獲量変動

2003年から2008年の常神の定置網の漁獲量データを整理したところ、図4に示すように、主要魚種はブリ類（ブリ、ワラサ、ハマチ、アオコ、ツバス）、マアジ、サワラ類（サワラ、サゴシ）、サバであった。この結果と、福井県水産試験場が例年発行する報告書（例えば、松宮・安田, 2007；瀬戸・前田, 2008）に記載されている県内全体の定置網漁業の漁獲データを比較すると、常神の定置網の主要魚種は周辺の定置網と同様の結果を示していた。そのため、常神の漁獲データは若狭湾東部海域の定置網における一般的な漁獲傾向を示しているといえよう。また、ブリ類は年間の漁獲量を左右する重要な魚種であることが理解できる。図5には、常神における魚種の季節変化の一例として、2005年の月別の漁獲量と魚種の割合を示している。ブリ類は年中漁獲されるわけではなく、5月、6月頃になるとブリ類の漁獲が増加する。ブリ類のなかで体長の大きいブリはこの時期に漁獲され、8月頃まで漁獲される。若狭湾の東寄りの海域は夏ブリの漁場として、また、西寄りの海域は冬ブリの漁場として、ともに日本海側では優秀な漁場として知られており（三谷, 1960）、常神の定置網のブリの漁獲量の季節変化は、若狭湾の夏ブリの漁況特性を表している。9月頃になるとブリ類が再び漁獲されるようになるが、この時期は体長の小さいアオコやツバスと呼ばれるサイズが漁獲される傾向がある。

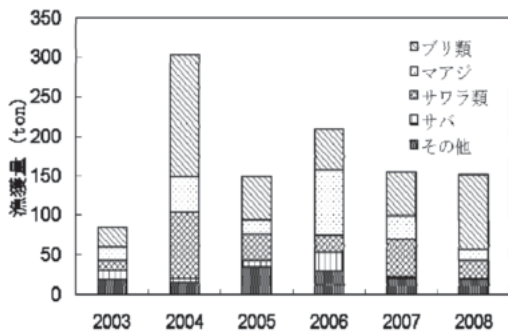


図4 常神の定置網における主要魚種

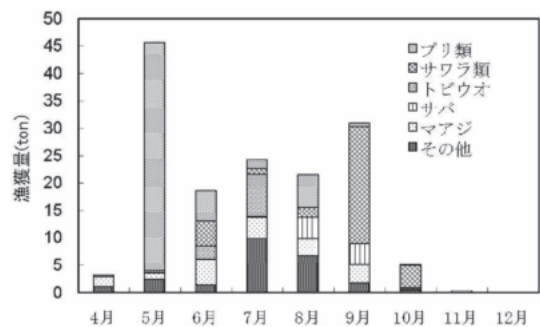


図5 常神の定置網で漁獲される魚種の季節変化の例（2005年）

4. 考察

4. 1 常神沖と若狭湾内の他海域の水温の比較

常神沖で測定された水温データと、同日に若狭湾内の観測地点で得られた水温データを比較し、常神沖との水温差について考察する。この解析では、若狭湾内の他の海域のデータとして図1で実施されている定点観測データを利用した。データを比較するには、常神沖で水温の測定が行われ、かつ上記の定点観測が実施されていなければならない。データ取得状況を調べ、データが揃っていた2005年と2008年のデータを用いて解析した（表1参照）。

若狭湾内の定点観測では図1に示される全観測点で海面から海底までの観測が行われている。

観測データのうち海面下10mと50mの水温データを抜き出し、それぞれの観測点のデータと同日の水温差の平均値を計算した（図6）。海面下10mの解析結果をみると、若狭湾内は常神と水温差が小さく0.5℃以下であった。越前岬と経ヶ岬を結んだ線よりも沖にあたる観測点51～56（図1参照）周辺では、常神の方が0.5℃程度高い傾向がある。海面下50mをみても、湾内の観測点との水温差は小さく、越前岬と経ヶ岬を結んだ線よりも沖にあたる海域では常神沖の水温の方が高い傾向がある。その水温差は海面下10mよりも大きく、最も沖にあたる観測点51～56周辺では常神の方が1.0℃程度高いことがわかる。

常神沖のモニタリングポイントから配信される水温データを若狭湾の他の海域で参考にする際、若狭湾内では同程度の水温が分布しているとみてよさそうである。若狭湾の湾口から湾外にあたる観測点41～46、51～56周辺では、常神の方が0.5～1℃程度高い傾向にあることに注意する必要がある。

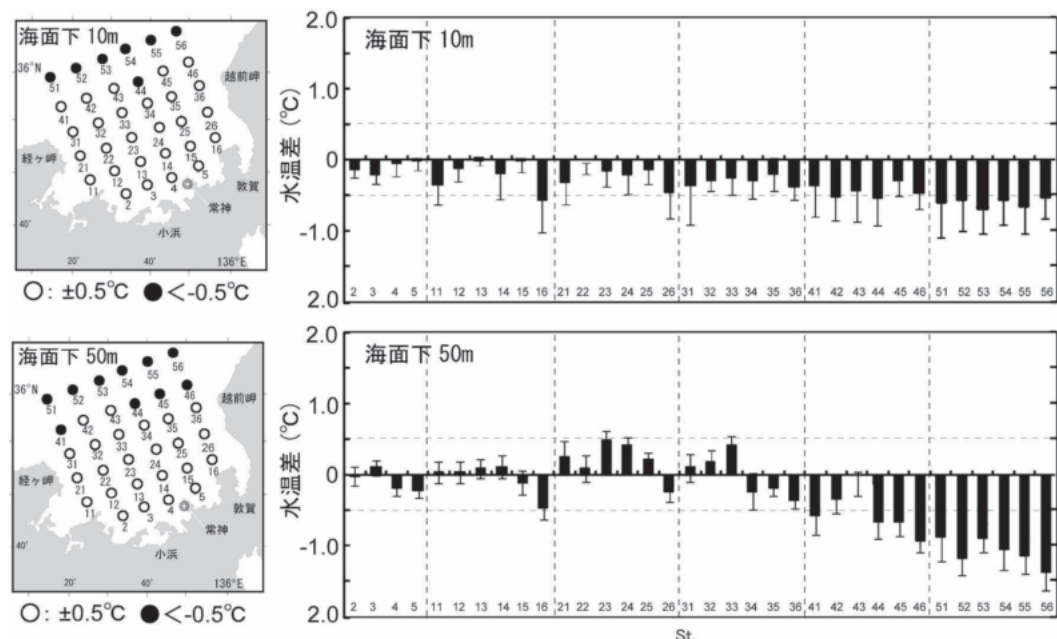


図6 常神沖と若狭湾定点調査地点の水温差（上：海面下10m，下：海面下50m）地図（左）の○は常神沖との水温差が±0.5℃以内の観測点を示し、●は常神沖よりも0.5℃低い観測点を示す。右図では常神沖よりも水温が低い（高い）ときは負（正）で表されている。

4. 2 常神沖の水温変動と若狭湾の水温構造の関連性

常神沖で取得した水温データは、海面下10mと50mで季節変動の特性が異なることを示した。海面下10mでは夏季に高温になるという一般的な季節変化をしているのに対して、海面下50mは夏季に低温化していた。また、常神沖の水温と若狭湾の他の場所の水温差をみると、若狭湾口から湾外にあたる観測点51～56周辺では沖合の水温が低くなる傾向があることがわかった。

本節では、これらの特徴が生じる理由について、若狭湾の定点観測データを利用して考察する。

図7には、常神半島から若狭湾の沖方向（観測点4-54、図1参照）の2005年4月から11月の水温の鉛直断面図を示す。断面図をみると、前節で示したように海面から海面下30m程度までの水温は、岸近くから沖合にかけてほとんど変わらないか、岸の方がわずかに高温である。海面下30m以深では、沖合の方が岸よりも低温の時期が多い。坂本ほか（1990）は、1988年に若狭湾の短期海況変動を調べ、3、5、7月の観測結果を示している。これらの断面図をみても同様の傾向を示していた。このような分布を示す理由としては、若狭湾には、対馬暖流の影響を受けた海水が流れ込んでいることが関係している。対馬暖流は沿岸境界流に分類され、暖かくて軽い暖水系水が岸に沿うように流れる。そのため、上層は暖水が覆う時期が多くなり、岸から沖にかけて水温差が小さくなっていると考えられる（図7参照）。海面下30m以深では沖合の方が冷たい時期が多い理由については、さらに詳細な検討が必要である。最近、若狭湾沖の陸棚域では、夏季になると湧昇が発生していることが示された（Nakada and Hirose, 2009）。夏季の底が岸近くよりも冷たくなる要因として、陸棚域で湧昇した海水が若狭湾内へ流入し湾内底層に冷水層を形成している可能性がある。現時点では陸棚域の湧昇の研究は始まったばかりで、その湧昇と若狭湾底層水の関連性についてはよくわかっていない。また、対馬暖流の暖水層厚の季節による違い等、別の要因が関係している可能性もある。若狭湾下層の方が岸近くよりも冷たくなる理由については、今後の課題としたい。

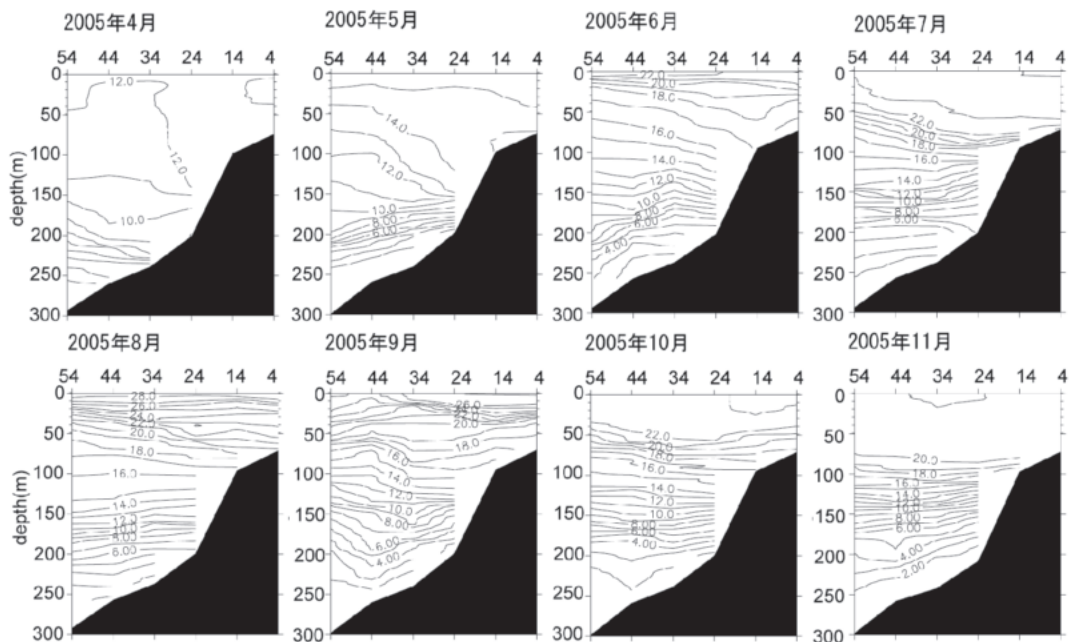


図7 常神沖から沖方向の水温断面図（2005年）観測点は図1に示している。50m層付近では岸近くの方が暖かく、沖合の方が冷たい傾向がある。

4. 3 常神沖の水温変動とブリの漁獲量の関連性

ブリなどの回遊魚は、一般的に生息する上で好ましいあるいは限界となる水温や塩分の範囲をもっている。それらの限度や範囲は、魚が回遊するうえでの大まかな行動や分布範囲を左右している。常神沖の水温変動と漁獲量の間に関係を見いだせるのであれば、若狭湾の定置網漁業における基礎データとして大切な知見であるとともに、常神沖から配信されている水温は漁期や回遊の時期の到来を推定する指標になると考えられる。これまでに取得した水温データと漁獲量データを利用して、水温の季節変動とブリの漁獲量の関連性について検討した結果について述べる。

常神のブリ類の漁獲量データは、その大きさによってアオコ、ツバス、ハマチ、ワラサ、ブリに分類されているが、ここでは夏季に多くの漁獲量があるブリの漁獲データを利用する。また、三谷（1960）は、若狭湾の経ヶ岬沖におけるブリ釣漁業の実態からブリの遊泳深度について検討した。彼は、ブリ釣漁業の漁場の水深は50–130m（平均100m）で、海底から約35–45m離れた中層に餌をつけていることから、生後1年も経つとブリは60–70m層付近を遊泳していると推察している。そこで、漁獲量データと比較する水温データは、60–70m層に近い海面下50mの日平均値を利用する。ブリが漁獲された日の水温を調べ、図8には水温ごとの漁獲量の積算値を示した。2004、2007年は水温が欠測であるため、積算値には加えていない。図から、漁獲量は13–16℃に特に多く、全体の漁獲量の大部分を占めていた。また、数は少ないが、この水温帯以外でもブリが漁獲されている。

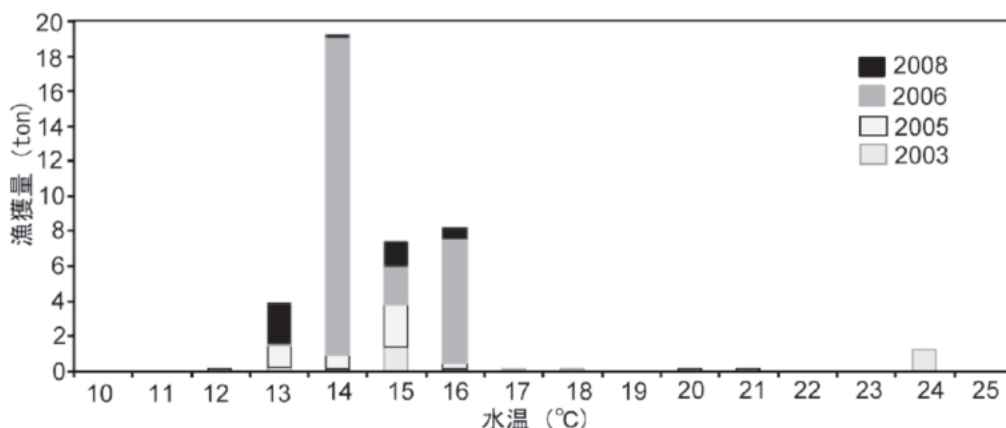


図8 常神の定置網における主要魚種

ブリは広域を回遊するため情報を得ることが難しく、詳しい回遊ルートについて現在も研究が進められているところである。最近、ブリの標識放流調査に遊泳位置情報を記録する機能を備えたコンピュータ内蔵の記録型標識（アーカイバルタグ）が用いられ、回遊の詳細が明らかにされつつある（井野ほか, 2008）。その結果、ブリの回遊ルートは複数あることや、それぞれ

の回遊ルートの特徴について明らかにされつつある。現時点では、常神の水温情報からブリの漁獲時期を予測することは難しいが、引き続きデータを蓄積することにより、ブリの生活史や若狭湾のブリ漁に関する新たな知見を見いだすためのデータとなる可能性がある。

5. おわりに

本研究では常神沖の水温モニタリングデータを解析し、常神沖の水温の季節変動特性を示すとともに、水温変動とブリの漁獲量変動との関連性について検討した。

常神沖の海面下10mの水温は春先から真夏にかけて次第に上昇し、8月から9月にかけて最高となった後、緩やかに低下する。それに対して、海面下50mの水温は、初夏から真夏にかけて上昇するものの、真夏にあまり上昇せず、低下する年も多いことがわかった。それぞれの層における各月の平年値と、これまでの年の平年値との差は、それぞれの数値を整理して示した。また、常神沖の水温データと船舶によって取得された若狭湾内の観測データを利用して、常神沖の水温との違いについて調べた。これらの知見は、常神沖から配信される水温データをみる際の基礎資料となる。さらに、水温変動と常神の定置網で漁獲されるブリの漁獲量との関連性について調べたところ、海面下50mの水温が13–16℃の頃にブリが漁獲される傾向があることを見出した。ブリの生活史や若狭湾のブリ漁に有効な情報を得るためには、さらにデータの蓄積が必要である。また、今回はブリを中心に解析したが、同様の解析をさまざまな魚種で行うことにより、水温データの利用価値が高まるであろう。また、利用者が若狭湾と水温データを見つめていくなかで、地域に適した利用方法を見出し、それぞれの立場から若狭湾の環境を理解するための指標として利用できるようになることが望まれる。

一連の研究を通じて、次の課題もみえてきた。若狭湾内下層には夏季になると陸棚域由来の冷水が進入している可能性があり、今後は下層の水温構造や流れに着目した研究を進める必要がある。また、水温データは成層期に数日スケールの短時間変動を示していた。短周期変動成分の特徴および形成要因、そして漁場形成や漁獲量変動との関連性について明らかにすることが必要である。

謝辞

本報をとりまとめるにあたり、福井県立大学海洋生物資源学科（現・株式会社ヴィッツ）の樋田裕基氏にはデータのとりまとめをご協力して頂いた。データの取得には福井県水産試験場、調査船「若潮丸」の柴野富士夫船長ならびに乗組員の方々には多大なご協力を頂き、常神須崎定置網組合の皆様には聞き取り調査や現地調査にご協力頂いた。ここに厚くお礼申し上げる。本研究の一部は、平成20年度県立大学地域貢献研究推進事業、九州大学応用力学研究所共同利用研究として実施した。

引用文献

- 井野慎吾・新田 朗・河野展久・辻 俊宏・山本敏博（2008）記録型標識によって推定された対馬暖流域におけるブリ成魚の回遊．水産海洋研究, 72（2）, 92－100.
- 前田英章・瀬戸久武（2008）急潮被害軽減技術開発事業．福井県水産試験場報告 平成19年度，56－60.
- 松宮由太佳・安田政一（2007）新漁場管理推進情報提供事業．福井県水産試験場報告 平成18年度，7－15.
- 三谷文夫（1960）ブリの漁業生物学的研究．近畿大学紀要. 1, 81－200.
- Nakada, S. and Hirose, N.(2009) Seasonal upwelling underneath the Tsushima Warm Current along Japanese shelf slope. *Journal of Marine Systems*, 78,2, 206－213.
- 瀬戸久武・前田英章（2008）新漁場管理推進情報提供事業．福井県水産試験場報告 平成19年度，7－15.
- 坂本 圭・益永典昭・山形俊男（1990）若狭湾の短期海況変動－1988年度海洋観測資料の解析－．大気海洋研究所報告，pp40.